

## Модификация литых бетонных смесей

*Горохова М.Н., к.т.н., проректор по НИР РИБиУ, г. Рязань, Россия*

*Бышов Д.Н., к.т.н., зав. кафедрой ЭМТП  
РГАТУ им. П.А. Костычева, г. Рязань, Россия*

*Макеев Р.Н., руководитель учебного центра «ТехноНиколь»,  
г. Рязань, Россия*

**Аннотация:** *в данной статье речь идет о разработке состава литой бетонной смеси для дорожных покрытий путем модифицирования его структуры комплексной добавкой. Установлено, что эксплуатационные свойства разработанной литой бетонной смеси обладают высокой надежностью и долговечностью.*

**Ключевые слова:** *литые бетонные смеси, модификация, дорожные покрытия, микрокремнезем, надежность долговечность.*

**Abstract:** *this article is devoted to developing of composition of cast concrete mixes for road covers by the modification of its structure complex Supplement. It is established that the properties of the developed cast concrete mixes have high reliability and durability.*

**Keywords:** *cast concrete mixes, modification, road cover, fume, reliability, durability.*

Возрастающим требованиям движения, особенно на грузонапряженных магистралях, как показывает отечественный и мировой опыт, в наибольшей степени отвечают бетонные покрытия. Стабильные транспортно-эксплуатационные показатели и высокая долговечность дают им преимущества перед покрытиями, построенными с применением органических вяжущих.

Дорожный бетон может длительное время (более 50 лет) воспринимать тяжелые транспортные нагрузки и воздействия природно-климатических факторов. Повышение несущей способности, увеличение срока службы, улучшение транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных магистралей – основные результаты, которых

следует ожидать от широкого применения бетона в строительстве городских улиц и дорог.

В России построено более 10 тыс. км с бетонными покрытиями. Однако это составляет лишь незначительную часть общей протяженности (около 3%), в то время как, по статистике, в их доля составляет около 60% в США, 38% в Германии, 46% в Австрии [1].

Прочный, долговечный, износостойчивый цементный бетон показал себя с лучшей стороны в качестве материала для дорожных оснований и покрытий. Расчеты подтверждают, что применение цементного бетона дает одновременно существенный технический, экологический и социальный эффекты. Устройству бетонного покрытия должна предшествовать подготовка подстилающего слоя и основания. Особенно важным является устройство надежного дренажа, чтобы при последующей эксплуатации дороги несвязные слои дорожной одежды не размывались, что может привести к появлению просадок морозного пучения и, как следствие, дефектам покрытия. Чем лучше будет подготовлен подстилающий слой, тем меньше времени и затрат потребуется на укладку покрытия из бетонной смеси. Покрытие непосредственно воспринимает нагрузки и обеспечивает безопасный проезд автомобилей с расчетной скоростью. Основание под цементобетонное покрытие необходимо устраивать так, чтобы уменьшить давление от автомобилей на подстилающий грунт и коробление бетонного покрытия под действием температуры, а также предотвращать выдавливание увлажненного грунта из-под краев и через швы покрытия; обеспечивать ровность и устойчивость дорожной одежды против неравномерных вертикальных смещений; повышать прочность и трещиностойкость покрытия.

По существующей технологии строительства бетонных покрытий применяют малоподвижные, подвижные и литые бетонные смеси в зависимости от технологии укладки и уплотнения. При этом бетонные покрытия могут быть одно- и двухслойными. Верхний слой покрытия должен быть не меньше 6 см.

Использование бетонных смесей с малой удобоукладываемостью требует применения специального оборудования, как для укладки, так

и для уплотнения. Эти работы характеризуются высокой энергоемкостью оборудования.

Другие возможности появляются при использовании литых самоуплотняющихся бетонных смесей (Self-Compacting Concrete – SCC). Бетоны из литых смесей обеспечивают высокую долговечность дорожных покрытий, повышенные водонепроницаемость, морозостойкость и сопротивление истиранию. Такие бетоны получены путем их модифицирования разработанной комплексной добавкой, состоящей из гиперпластификатора, аморфного и кристаллического кремнезема.

Самоуплотняющиеся бетонные смеси распределяются и уплотняются в основном под действием собственного веса, что и определяет эффективность их применения. Они характеризуются таким же или меньшим на 3 – 7% по сравнению с бетонами из малоподвижных смесей расходом цемента [2].

Технико-экономическая эффективность применения бетонов из литых смесей обеспечивается значительным снижением трудозатрат при устройстве дорожных оснований и покрытий, улучшением условий труда, уменьшением энергоемкости и стоимости строительства дорог. Самоуплотняющиеся бетонные смеси, как правило, состоят из портландцемента, воды, мелкого и крупного заполнителей, тонкодисперсного минерального наполнителя, эффективного пластификатора и некоторых других добавок, позволяющих регулировать определенные свойства смеси и бетона.

Для достижения высоких эксплуатационных характеристик самоуплотняющихся бетонных смесей предъявляются очень жесткие требования к исходным материалам. Крупность мелкого заполнителя составляет не более 0,125 мм, причем 70 % должен составлять заполнитель размером 0,063 мм. Крупный заполнитель обязательно фракционируют по размерам. Также применяют неорганические наполнители с высокой удельной поверхностью, которые увеличивают водоудерживающую способность смеси (белая сажа, молотый асбест, бентониты), повышают ее плотность, способствуют уменьшению капиллярной пористости и морозостойкости. Самоуплотняющаяся бетонная смесь должна характеризоваться низким водоцементным отношением (0,38 –

0,4) и при этом обеспечивать высокие показатели удобоукладываемости: 50 – 70 см по распылу конуса и осадку конуса более 20 см.

В ГУП «НИИМосстрой» были разработаны и изучены самоуплотняющиеся бетонные смеси и бетоны применительно к использованию их для устройства бетонных оснований и покрытий дорог. Были использованы несколько видов портландцемента, характеризующихся нормированным химико-минералогическим составом, но отличающихся активностью. В качестве крупного заполнителя использовался гранитный щебень фракции 3 – 10 мм, в качестве мелкого – мытый (обогащенный) кварцевый песок максимальной крупностью 1,25 мм. Кроме того, применяли тонкодисперсные компоненты: микрокремнезем, молотый кварцевый песок. Добавками служили суперпластификатор С-3 (как наиболее распространенный), гиперпластификатор на основе карбоксилатов (Sika ViscoCrete-5 Neu), микроволокно, воздухововлекающая добавка.

Использование микрокремнезема обосновано тем, что необходимо получить бетон, характеризующийся высокими показателями плотности структуры, водонепроницаемости, морозостойкости. Микрокремнезем – это высокорекреационная пуццолановая добавка, необходимая для получения более долговечного и прочного цементного камня.

Молотый кварцевый песок использовался как тонкодисперсная добавка-наполнитель, способствующая уплотнению структуры бетона. Высокоэффективные поликарбоксилатные суперпластификаторы, получившие название «гиперпластификаторы», выбраны в связи с тем, что реальные возможности снижения В/Ц (до 40%) и разжижения бетонной смеси у них значительно выше, чем у традиционных полиметиленафталинсульфонатов и полиметиленмеламинсульфонатов.

Механизм действия поликарбоксилатного гиперпластификатора заключается в том, что частицы поликарбоксилатов адсорбируются на поверхности цементных зерен и сообщают им отрицательный заряд. В результате цементные зерна взаимно отталкиваются и приводят в движение цементный раствор.

Использование комплексной добавки позволило получить бетон с улучшенными характеристиками, а именно: стойкость к истиранию повысилась на 20%, прочность при сжатии – на 35 – 50%, отмечена более

высокая ранняя прочность при твердении в нормальных условиях, водонепроницаемость увеличилась на 50%, повысилась морозостойкость в солях (до 2 раз выше требуемой).

В результате исследования получены самоуплотняющиеся бетоны с прочностью при сжатии 43 – 76 МПа и при изгибе 5 – 9,5 МПа при расходе портландцемента не более 370 кг на 1 куб.м. бетона. Как видно из полученных данных, прочностные показатели разработанных бетонов значительно превышают нормативные.

Результаты испытаний образцов самоуплотняющихся бетонов позволяют рекомендовать их для устройства дорожных покрытий повышенной долговечности. Об этом свидетельствуют результаты испытаний на морозостойкость в солях (350 – 550 циклов), истираемость (менее 0,4) и высокая коррозионная стойкость.

Установлено, что особенно эффективны SCC, модифицированные гиперпластификатором и микрокремнеземом. Результаты исследования подтвердили теоретические положения, что рациональный состав и модифицирование комплексной добавкой, состоящей из гиперпластификатора с микронаполнителями из кремнезема, способствуют получению оптимальной структуры и свойств самоуплотняющегося бетона.

Самоуплотняющиеся бетонные смеси могут применяться при строительстве монолитных оснований и покрытий дорог (как однослойных, так и двухслойных). Конструкция покрытия и всей дорожной одежды определяется проектом. Поперечный и продольный уклон на участках покрытия (основания) в этом случае не должны превышать 3%. Дальнейшее увеличение уклонов вызывает необходимость введения в смесь фибры.

Составы литого бетона для дорожных покрытий с комплексной добавкой и их свойства приведены в таблице 1.

Табл. 1. – Составы литого бетона для дорожных покрытий с комплексной добавкой и их свойства

№ состава	Удобукладываемость смеси (ОК), см	Состав литого бетона, кг/м <sup>3</sup>								Прочность в возрасте 28 сут., МПа		Класс бетона
		МКВЦ	П	Щ	В	МК	МП	ГП	ВВ	при сжатии	при растяжении, при изгибе	
1	25	400/308	650	1170	180	32	60	3,23	0,31	51,4	6,3	B40
2	25	450/354	650	1170	202,5	36	60	3,63	0,35	64,3	7,3	B50
3	25	550/446	650	1170	247,5	44	60	3,35	0,45	76,5	8,2	B60
4	20-22	350/269	650	1170	157,5	21	60	2,42	0,27	35	5,1	B30
5	20-22	400/316	650	1170	180	24	60	2,84	0,32	48	6,1	B40
6	20-22	450/340,5	650	1170	202,5	49,5	60	3,06	0,34	66	7,6	B50
7	16-18	350/269	650	1170	157,5	21	60	2,42	0,27	35	5,1	B30
8	16-18	400/316	650	1170	180	24	60	2,53	0,32	48	6,1	B40
9	16-18	450/340,5	650	1170	202,5	37,4	60	2,72	0,34	66	7,6	B50
K*	16-18	490	600	1150	185	-	-	3,43 (C)	-	38,6	4,5	B30

Примечание:  
МКВ – модифицированное композиционное вяжущее; Ц – цемент; П – песок; Щ – щебень; В – вода; МК – микрокремнезем; МП – молотый песок; ГП – гиперпластификатор; ВВ – воздухововлекающая добавка. Водовязущее отношение (В/МКВ/Ц) = 0,45 = const; K\* – контрольный состав с добавкой С-3.

На рисунке 1 представлена зависимость прочности при сжатии бетона в возрасте 28 сут от расхода микрокремнезема при различных расходах цемента и одинаковом расходе гиперпластификатора.

Установлено, что морозостойкость литого бетона с использованием воздухововлекающей добавки Sika Aer выше 300 циклов (нормируемые 200).

Долговечность дорожного бетона определяется не только стойкостью к действию климатических факторов, но и стойкостью к эксплуатационным воздействиям, одним из которых является стойкость к действию абразивного износа. Многолетний опыт эксплуатации цементобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов показал высокую устойчивость бетона против действия комплекса факторов, вызывающих износ материала. Как следует из таблицы 2, истираемость литых бетонов значительно ниже допустимого значения 0,7 г/см<sup>2</sup>.

На рисунке 2 представлена зависимость прочности при растяжении при изгибе литого бетона в возрасте 28 сут от расхода микрокремнезема при различных расходах цемента.

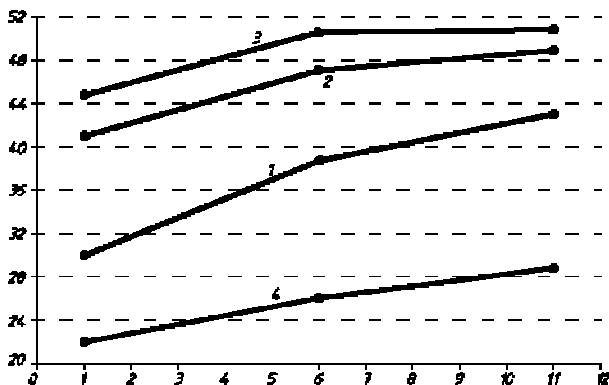


Рисунок 1. – Зависимость прочности при сжатии бетона в возрасте 28 сут. от расхода микрокремнезема при различных расходах цемента и одинаковом расходе гиперпластификатора

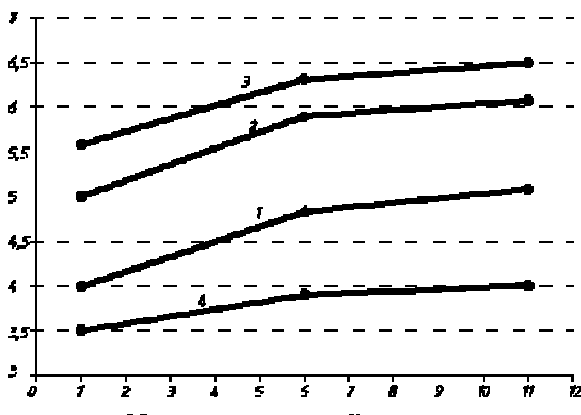


Рисунок 2. – Зависимость прочности при растяжении при изгибе литого бетона от расхода микрокремнезема при различных расходах цемента

Результаты лабораторных исследований прочностных, деформативных и эксплуатационных свойств бетонных смесей позволяет утверждать, что получены литые бетоны для дорожных покрытий, что обеспечивается модифицированием структуры литого бетона введением комплексной добавки, состоящей из гиперпластификатора, микрокремнезема и молотого песка.

Технологические свойства литой бетонной смеси и эксплуатационные свойства полученного бетона превышают требования, предъявляемые к бетонам для дорожных покрытий, и могут быть рекомендованы для устройства дорожных покрытий улиц, дорог, дворовых территорий [1].

Для оценки экономической эффективности применения литой бетонной смеси с комплексной добавкой для дорожных покрытий использован критерий экономической эффективности, вычисляемый по формуле

$$K_{э} = n \cdot C_1 \cdot (n - 1) \cdot C_2 + C_3 \cdot T_{пр.опт}, \quad \text{где}$$

$K_{э}$  – критерий экономической эффективности, руб./год;

$n = T_{пр.опт} / T_{пр}$  – коэффициент эксплуатационной пригодности;

$(n - 1)$  – коэффициент эксплуатационной пригодности за период  $T_{пр.опт}$ ;

$C_1$  – сметная стоимость устройства  $1 \text{ м}^2$  дорожного покрытия (отпускная цена или заводская себестоимость  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси + транспорт + подготовка основания + укладка бетонной смеси + мероприятия по уходу за твердением), руб.;

$C_2$  – стоимость демонтажа  $1 \text{ м}^2$  бетонного покрытия, руб.;

$C_3$  – эксплуатационные расходы (амортизационные отчисления) на  $1 \text{ м}^2$  бетонного покрытия, руб.;

$T_{пр.опт}$  – оптимальный срок эксплуатации дорожного покрытия, принятый для ориентировочных расчетов равным 10 годам;

$T_{пр}$  – предельный срок службы дорожного покрытия, лет.

В экономических расчетах срок службы  $T_{пр}$  дорожного цементобетонного покрытия принят 4 года, а основания – 3. Показатели экономической эффективности сравниваемых бетонов приведены в табл. 2. Сметная стоимость  $C_1$  устройства  $1 \text{ м}^2$  дорожного цементобетонного



покрытия на основании из песчано-гравийной смеси определена на основе средних рыночных цен на строительные материалы, изделия и конструкции по Москве (себестоимость  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси с учетом транспортных расходов, подготовки основания, укладки бетонной смеси и мероприятий по уходу за бетоном в процессе твердения). Амортизационные отчисления  $C_3$  определены на основании норм амортизационных отчислений по основным фондам, действующим в настоящее время, и приняты для дорожных цементобетонных покрытий в размере 2,5% сметной стоимости  $1 \text{ м}^2$  дорожного цементобетонного покрытия.

Табл.2. – Техничко-экономические показатели дорожных покрытий с использованием литых бетонов (на  $1 \text{ м}^2$ ) [2]

Вид бетона	Стоимость, руб.			$T_{\text{пр}}$ , лет	n	n – 1	$K_{\text{э}}$ , руб./год
	$C_1$	$C_2$	$C_3$				
Литой бетон без добавок	700	150	30	4	2,5	1,5	200,5
Литой бетон с комплексной добавкой	1200	150	30	30	7,5	0,1	661

Расчет экономической эффективности применения литой бетонной смеси для дорожных покрытий с органоминеральной добавкой выполнен для бетонного завода, имеющего следующие производственные показатели: годовая производительность завода – около 50 тыс.  $\text{м}^3$  товарного бетона или 700 тыс.  $\text{м}^2$  дорожного покрытия; предельный срок службы  $T_{\text{пр}}$  одного метра дорожного покрытия из литой бетонной смеси для дорожных покрытий без добавок 4 года, критерий экономической эффективности  $K_{\text{э}}$ , – 200,5 руб./год; предельный срок службы  $T_{\text{пр}}$  дорожного покрытия из литой бетонной смеси для дорожных покрытий с комплексной добавкой 30 лет, критерий экономической эффективности  $K_{\text{э}}$ , – 661 руб./год.

При принятых условиях годовой экономический эффект для дорожного покрытия из литой бетонной смеси без добавок и с комплексной добавкой составляет:

$(661 - 200,5) * 700\,000 = 32,2$  млн. руб. на 700 тыс. м<sup>2</sup> дорожного покрытия,

$(661 - 200,5) * 50\,000 = 23,1$  млн. руб. на 50 тыс. м<sup>3</sup> бетона.

Вычисленный экономический эффект следует рассматривать как ориентировочный, т.к. некоторые исходные данные требуют уточнения ( $T_{пр}$ ,  $T_{пр.отп}$ ). Однако, предварительные расчеты позволяют предполагать значительный экономический эффект при внедрении результатов этих исследований.

Вывод:

Технологические свойства литой бетонной смеси и эксплуатационные свойства полученного бетона для дорожных покрытий превышают требования, предъявляемые к бетонам для дорожных покрытий, что дает значительный экономический эффект.

Таким образом, полученные экономичные составы литого бетона для дорожных покрытий путем модифицирования его структуры комплексной добавкой, состоящей из гиперпластификатора, микрокремнезема и молотого песка, могут быть рекомендованы для дорожных покрытий.

### Список литературы

1. Коровяков В.Ф. Литые бетонные смеси для дорожного строительства // Строительные материалы. – 2012. – № 10. – С. 7 – 9
2. Горохов А.А. Применение самоуплотняющихся бетонных смесей для устройства дорожной одежды городских улиц // Строительные материалы. – 2014. – № 9. – С. 46 – 48